



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

TVORBA EDUKAČNÍ ÚLOHY PRO VÝUKU GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ

EDUCATIONAL TASKS FOR TEACHING OF GEOMETRIC TOLERANCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Hanáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Lukáš Hanáček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tvorba edukační úlohy pro výuku geometrických tolerancí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Aplikace geometrických tolerancí umožňuje srozumitelně popsat tvarovou přesnost součástí a kontrolovat přesnost výroby. K měření geometrických tolerancí se převážně používají přesné dílenské měřicí přístroje, které jsou na Ústavu konstruování k dispozici. Popis měření vybraných geometrických tolerancí v rámci edukačních úloh podpoří pochopení problematiky geometrických tolerancí ve výuce konstrukčních předmětů.

Typ práce: rešeršně syntetická.

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je edukativní popis měření a vyhodnocování geometrických tolerancí včetně aplikace poznatků pro jejich měření na navrženém a vyrobeném vzorku.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- edukativně popsat definice geometrických tolerancí a principy pro jejich měření a vyhodnocení dle aktuálních norem,
- navrhnout tři edukační úlohy,
- vytvořit kompletní zadání jedné zvolené úlohy,
- aplikovat vybrané metody měření a vyhodnocení pro konkrétní zvolenou úlohu a vzorek.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, laboratorní protokol, digitální data.

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>.

Seznam doporučené literatury:

ČECH, J., J. PERNIKÁŘ a K. PODANÝ. Strojírenská metrologie I. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-802-1440-104.

NASSEF, A. O. a H. A. ELMARAGHY. Allocation of Geometric Tolerances: New Criterion and Methodology. CIRP Annals. 1997, 46(1), 101-106. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60785-9. ISSN 00078506.

ČSN EN ISO 1101 (01 4120): Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

ČSN EN ISO 8015 (01 4204): Geometrické specifikace produktu (GPS) - Základy – Pojmy, principy a pravidla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. V první je zpracována rešerše pojednávající o geometrických tolerancích, jejich rozdělení, značení, vyhodnocování atd. Druhá část je praktická. Zde je využito znalostí získaných z rešeršní části k měření skutečné součásti, která byla přímo pro účely této práce navrhnutá a vyrobená. Měření je uskutečněno pomocí jednoduchého měřicího přístroje, který je na fakultě k dispozici. Koncept praktické části práce je uzpůsoben tak, aby sloužil jako podklad pro výuku studentů bakalářského studia.

KLÍČOVÁ SLOVA

Geometrické tolerance, toleranční pole, základna, úchylkoměr

ABSTRACT

The bachelor's thesis is divided into two main parts. The first one is a theoretical part and it clarifies the basics of geometric tolerancing. The second one is practical and it uses the knowledge gained from the first part to show how geometric tolerances are measured and evaluated. It is demonstrated on a part made especially for the thesis. The measurement uses a device available at the faculty. The purpose of this work is to educatively illustrate the measurement and evaluation of the specifications to students.

KEYWORDS

Geometric tolerances, tolerance zone, datum, dial indicator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANÁČEK, Lukáš. *Tvorba edukační úlohy pro výuku geometrických tolerancí*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131963>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Petr Svoboda.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Svobody, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 10. května 2021

.....

Lukáš Hanáček

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za jeho věcné poznámky a odborné konzultace, které mi pomohli tuto práci dokončit. Velký dík patří mé přítelkyni, která byla mým hnacím ústrojím a zbytku rodině za neustálou podporu.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 10 |
| 1 Analýza problému a cíl práce | 11 |
| 1.1 Analýza problému | 11 |
| 1.2 Cíl práce | 11 |
| 2 Přehled současného stavu poznání | 12 |
| 2.1 Základní pojmy | 12 |
| 2.1.1 Toleranční pole | 12 |
| 2.1.2 Indikátor tolerance | 13 |
| 2.1.3 Základna | 13 |
| 2.1.4 Teoreticky exaktní rozměr | 14 |
| 2.2 Rozdělení geometrických tolerancí | 15 |
| 2.3 Tolerance tvaru | 15 |
| 2.3.1 Tolerance přímosti | 15 |
| 2.3.2 Tolerance rovinnosti | 16 |
| 2.3.3 Tolerance kruhovitosti | 16 |
| 2.3.4 Tolerance válcovitosti | 17 |
| 2.3.5 Tolerance profilu čáry | 17 |
| 2.3.6 Tolerance profilu povrchu | 17 |
| 2.4 Tolerance orientace | 18 |
| 2.4.1 Tolerance rovnoběžnosti | 18 |
| 2.4.2 Tolerance kolmosti | 19 |
| 2.4.3 Tolerance sklonu | 19 |
| 2.5 Tolerance umístění | 19 |
| 2.5.1 Tolerance polohy | 20 |
| 2.5.2 Tolerance soustřednosti a souososti | 20 |
| 2.5.3 Tolerance souměrnosti | 21 |
| 2.6 Tolerance házení | 21 |
| 2.6.1 Tolerance kruhového házení | 21 |
| 2.6.2 Tolerance celkového házení | 22 |
| 2.7 Chyby měření | 23 |
| 2.8 Měřicí přístroje | 23 |
| 3 Diskuze | 25 |
| 3.1 Návrh a výroba součásti vhodné k měření | 25 |
| 3.1.1 Specifikace součásti | 25 |
| 3.1.2 Popis měřicího zařízení | 26 |
| 3.2 Aplikace poznatků o měření geometrických tolerancí | 31 |
| 3.2.1 Zadání úlohy č.1 | 31 |
| 3.2.2 Postup a vyhodnocování měření | 32 |
| Závěr | 40 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů | 42 |
| Seznam příloh | 43 |

Úvod

V dnešní době, období čtvrté průmyslové revoluce, je kladen enormní důraz na vysokou úroveň všech výrobních a technologických aspektů, jakými jsou například cena, kvalita a rychlost výroby. Všechno zmíněné je ovlivněno základním pilířem, bez kterého by výroba čehokoliv nemohla proběhnout, a tím je technická dokumentace. Aby taková dokumentace byla kompletní, musí obsahovat informace nezbytné pro správné pochopení její funkce a zároveň informace nutné k její výrobě a následné montáži. [1]

Když se mezi výše zmíněnou výrobu a montáž vloží proces kontroly, mluvíme o třech částech industriálního procesu, kterým projde každý výrobek. Do jaké míry se může daný výrobek lišit od ideálního modelu zohledňují geometrické tolerance. Své místo zastávají v kontrolním procesu, resp. jejich kontrola připadá do fáze povýrobní. [2]

Geometrické tolerování je jakási forma inženýrského jazyka, kterým se dorozumívají pracovníci napříč zeměmi. Popisem se sice zabývá vícero norem, všechny ale sdílejí společný teoretický základ. Hlavním důvodem pro vznik geometrických tolerancí je zaměnitelnost dílů při montáži konstrukčních celků. To je žádoucí faktor především kvůli rychlosti, ceně a například možnosti spolupráce s pestřejší škálou subdodavatelů náhradních dílů.

Studenti se na fakultě strojního inženýrství na VUT v rámci bakalářských programů učí přehled těchto geometrických tolerancí. Pro mnohé, zvláště pak absolventy předchozích gymnazijních studií, je problematika tolerování neúplně dostatečně vysvětlena. Tato práce je určena ke zlepšení možnosti porozumění dané látce. Studenti si budou moci sami vyzkoušet jednoduché měření, které by mělo vést k ucelení představy o tom, jak důležitou pozici geometrické tolerance ve světě průmyslu zastávají.

1 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

1.1 ANALÝZA PROBLÉMU

S dokonale přesně vyrobenou součástí se v praxi nelze setkat. K vyjádření přípustnosti nedostatků, které určují, jak moc se od dokonalého tvaru vzdalujeme, používáme rozměrového a geometrického tolerování. Rozměrové tolerance nám však na rozdíl od geometrických nedávají informaci o přesnosti tvaru.

S rostoucími odchylkami od teoreticky přesného rozměru a jeho tolerančního pole, které jsou způsobeny zvoleným způsobem výroby, lidskou chybou, příp. jinými faktory, se zvětšuje pravděpodobnost komplikace spojené s funkčností dílu, resp. smontovatelností, či zaměnitelností součástí v rámci sestavy. Ke správnému navrhování tolerancí a tím minimalizování velikosti takové chyby musí konstruktér znát jisté normy v rámci systému geometrických specifikací produktu (GPS). Ten se zabývá popisem délkových a tvarových tolerancí, strukturou povrchu a v neposlední řadě způsobem měření a vyhodnocováním daných specifikací. Teoretický základ z této oblasti je tedy nutný ke správnému určení a následnému navrhování tolerancí.

1.2 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této práce je edukativní popis měření a vyhodnocování geometrických tolerancí včetně aplikace poznatků pro jejich měření na navrženém a vyrobeném vzorku.

Do dílčích cílů spadá edukativně popsat definice geometrických tolerancí a principy pro jejich měření a vyhodnocování dle aktuálních norem, navrhnout tři edukační úlohy, pro jednu z nich vytvořit kompletní zadání, a nakonec aplikovat vybrané metody měření a vyhodnotit konkrétní zvolenou úlohu.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

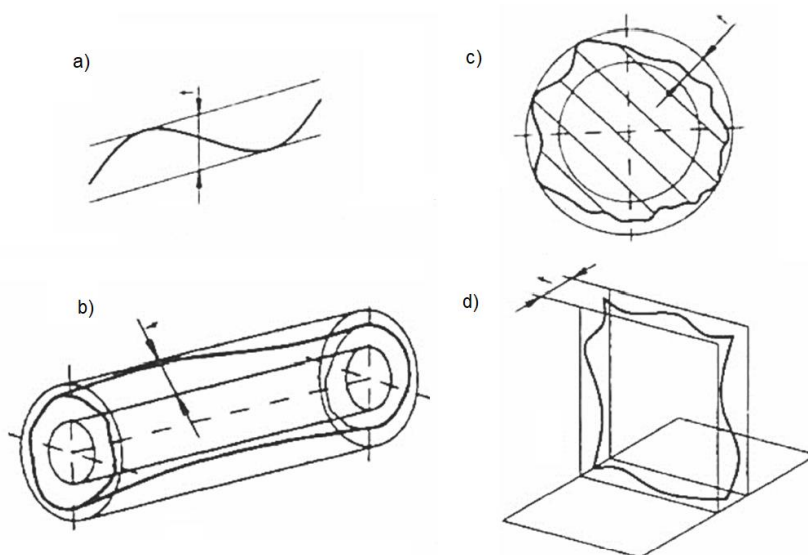
Necht' existuje geometrické tolerování. Motivací k jeho zavedení jsou neustále narůstající nároky na přesnost vyrobených součástí. Samo tolerování určuje přípustnou odchylku skutečného tvaru a polohy od jejich ideálních hodnot. To je třeba k zajištění bezvadné funkčnosti součástí. Aby toho bylo dosaženo, je třeba, aby naměřené hodnoty spadaly do tolerančního pole, viz níže. Každý takový záměr je třeba zřetelně vyznačit ve výkrese součásti dle platné normy. Není-li tomu tak, opomenuté, případně záměrně vynechané tolerance upravuje, resp. určuje norma ČSN EN ISO 2768-2.

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Tato kapitola je určena k objasnění základních pojmů z oblasti geometrického tolerování. Ve zkratce jsou zde shrnuty ty nejdůležitější z nich, nezbytné pro následné pochopení látky dané problematiky.

2.1.1 TOLERANČNÍ POLE

Toleranční pole je definováno jako prostor vymezený pomocí jedné nebo dvěma ideálními čarami, nebo povrchy a charakterizovaný jedním nebo více délkovými rozměry, zvanými tolerance. [3] V tomto prostoru se musí nacházet skutečný tvar prvku. Velikost takového pole je určena požadavkem konstruktéra, který se rozhoduje na základě nároků na přesnost výroby. Tvar pole je definován tolerovaným prvkem. Je-li například tolerovaným prvkem povrch součásti, toleranční pole je pak vymezený prostor mezi dvěma povrchy, vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance. Analogicky je dále tvar pole definován podle tvaru zkoumané geometrie.



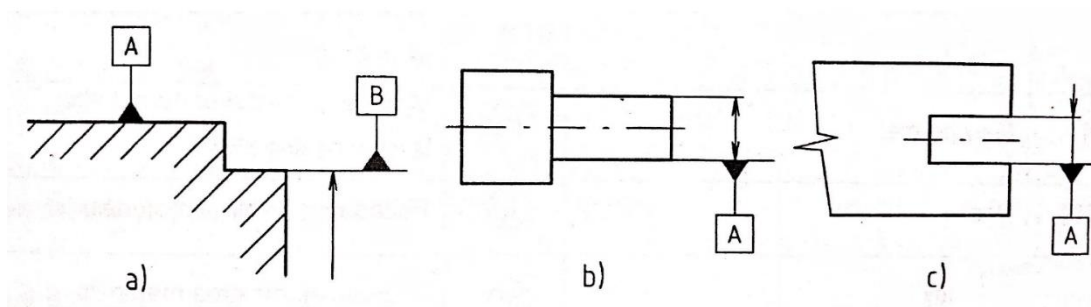
Obr. 2-1 Toleranční pole tvořeno; a) přímkami, b) válci, c) kružnicemi, d) rovinami
[4]

2.1.2 INDIKÁTOR TOLERANCE

Indikátor tolerance, dříve nazýván toleranční rámeček, je obdélníkový rámeček, který je rozdělen do dvou nebo tří segmentů. První z nich je vyhrazen pro značku geometrické tolerance. Druhý je určen pro bližší charakteristiku specifikace. Třetí úsek, nepovinný, je vyhrazen pro označení základny, viz dále.

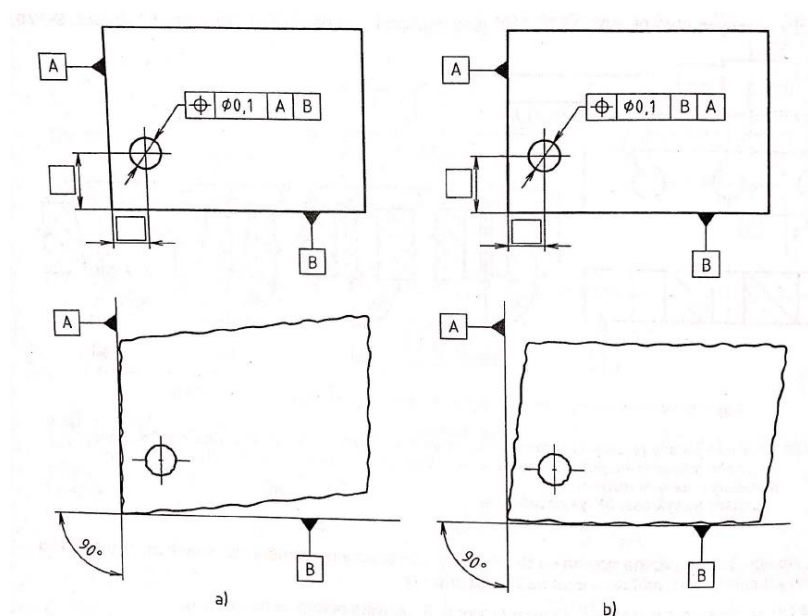
2.1.3 ZÁKLADNA

Základnou je jeden nebo více prvků měřené součásti, ke kterému je vztažena předepsaná geometrická tolerance. Zpravidla se jedná o bod, přímku nebo rovinu. Tyto prvky jsou uvažovány jako teoreticky přesné. Na výkrese se značí pomocí velkého písmena abecedy vepsaného do čtvercového rámečku, který je spjat s prvkem odkazovou čarou. K tomuto prvku je pak vztažena tolerance. Rozhodující je umístění základny, které modifikuje její tvar. Umístíme-li ji na obrysovou čáru součásti, bude základnou přímka, nebo plocha. Umístíme-li ji na prodloužení kóty, bude základnou osa, resp. rovina souměrnosti.



Obr. 2-2 Umístování základen a) na obrysovou čáru prvku; b); c) na prodlouženou kótovací čáru [4]

Zvláštní případ je použití soustavy základen. Počet předepsaných základen v indikátoru se tak může navýšit až na hodnotu tři. Pořadí vyhodnocování základen je pak dáno zleva doprava a má zásadní vliv na výsledky měření specifikace.

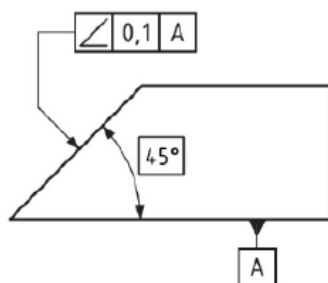


Obr. 2-3 Soustava základů s primární základnou a) A; b) B [4]

Kompletní popis problematiky týkající se základů je případně k nalezení v normě ČSN EN ISO 5459.

2.1.4 TEORETICKY EXAKTNÍ ROZMĚR

Jedná se o jmenovitý prvek s ideálním tvarem, rozměrem, orientací a umístěním, podle potřeby. [3] Využívá se například při tolerování polohy děr, ale i u dalších tolerancí. Jelikož toleranční pole je vždy symetricky rozloženo kolem teoreticky přesné polohy, nedochází ke sčítání tolerance prvků uspořádaných v ose. [4] Teoreticky exaktní rozměry jsou kóty vepsané do rámečků a jedná se zpravidla o délku, či úhel. Úhly o hodnotách 0, 90, 180 a 270° se však takto neoznačují.



Obr. 2-4 Indikace teoreticky exaktního úhlového rozměru [3]

2.2 ROZDĚLENÍ GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ

Rozdělit geometrické tolerance lze do čtyř skupin. Každá ze skupin určuje, jakou specifikaci tolerance zkoumá. Tyto čtyři skupiny lze ještě dále rozdělit do dalších několika podskupin, které určují charakteristiku samotné tolerance. Přehledně znázorněno na následujícím Obr. 2-2.

| Specifikace | Charakteristika | Značka | Nutnost základny |
|-------------|-------------------------|--------|------------------|
| Tvar | Přímost | — | ne |
| | Rovinnost | | ne |
| | Kruhovitost | | ne |
| | Válcovitost | | ne |
| | Profil čáry | | ne |
| | Profil povrchu | | ne |
| Orientace | Rovnoběžnost | // | ano |
| | Kolmost | | ano |
| | Sklon | | ano |
| Umístění | Poloha | | ano/ne |
| | Soustřednost a souosost | | ano |
| | Souměrnost | | ano |
| Házení | Kruhové házení | | ano |
| | Celkové házení | | ano |

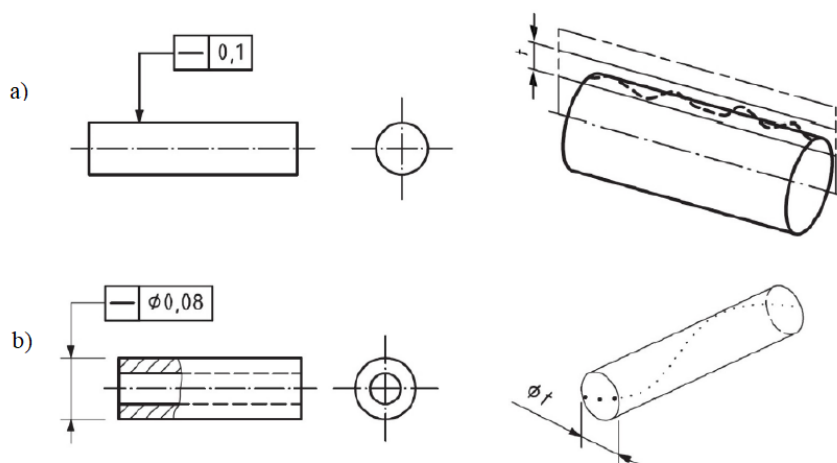
Obr. 2-5 Přehled geometrických tolerancí

2.3 TOLERANCE TVARU

První skupinou je tolerance tvaru. Obsahuje šest samostatných tolerancí a mezi jejich vlastnosti patří, že se vztahují k jednomu prvku a nevztahují k základnám.

2.3.1 TOLERANCE PŘÍMOSTI

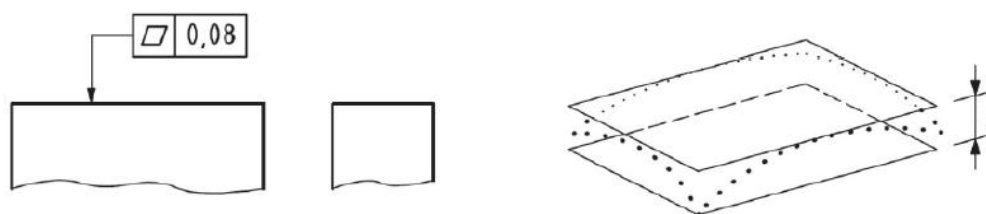
Tolerance přímosti je obvykle používána ku kontrole jednotlivých čárových elementů, které tvoří plochu válcového charakteru, nebo jejich os. [5] Skutečná přímka povrchu musí ležet v oblasti ohraničení dvěma rovnoběžnými přímkami, jak ukazuje Obr. 2-6 a), nebo je-li u hodnoty tolerance znak průměru, pak ve válcové oblasti, jak je tomu v Obr. 2-6 b).



Obr. 2-6 Indikace a toleranční pole přímosti [3]

2.3.2 TOLERANCE ROVINNOSTI

Toleranční pole je zde určeno jako oblast omezena dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance „t“ (Obr. 2-7). Skutečný prvek musí ležet uvnitř této oblasti.



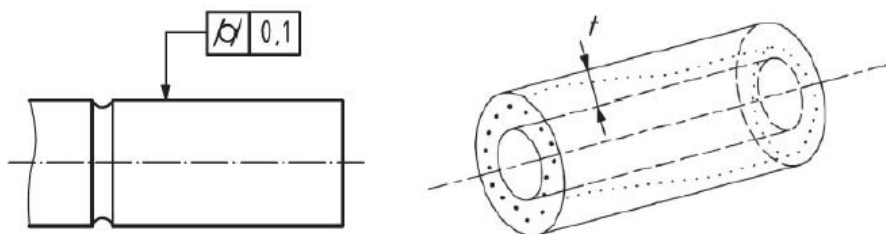
Obr. 2-7 Indikace a toleranční pole rovinnosti [3]

2.3.3 TOLERANCE KRUHOVITOSTI

Zde je v roli tolerovaného prvku kružnice, resp. množina kružnic. Není-li stanoveno jinak, kružnice je extrahována pomocí roviny řezu umístěné kolmo na osu tolerovaného prvku. Toleranční pole je v tomto případě mezikruží o velikosti rozdílu poloměrů rovném hodnotě tolerance.

2.3.4 TOLERANCE VÁLCOVITOSTI

Skutečný povrch musí ležet mezi dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance „ t “ (Obr. 2-8).



Obr. 2-8 Indikace a toleranční pole válcovitosti [3]

2.3.5 TOLERANCE PROFILU ČÁRY

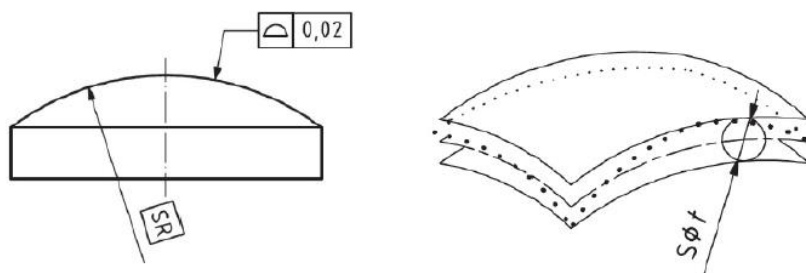
Toleranční pole stanovené specifikací je vymezeno dvěma čarami obklopujícími kružnice o průměru „ t “, jejichž středy jsou umístěny na čáře, která má teoreticky exaktní geometrický tvar (Obr. 2-9). [3]



Obr. 2-9 Indikace a toleranční pole tolerance profilu čáry

2.3.6 TOLERANCE PROFILU POVRCHU

Definice je analogicky obdobná jako u tolerance profilu čáry. Zde se jen čáry transformují na povrchy a kružnice na koule. Povrchy těchto koulí, jejichž středy leží na teoreticky přesném povrchu, poté ohraničují toleranční pole (Obr. 2-10).



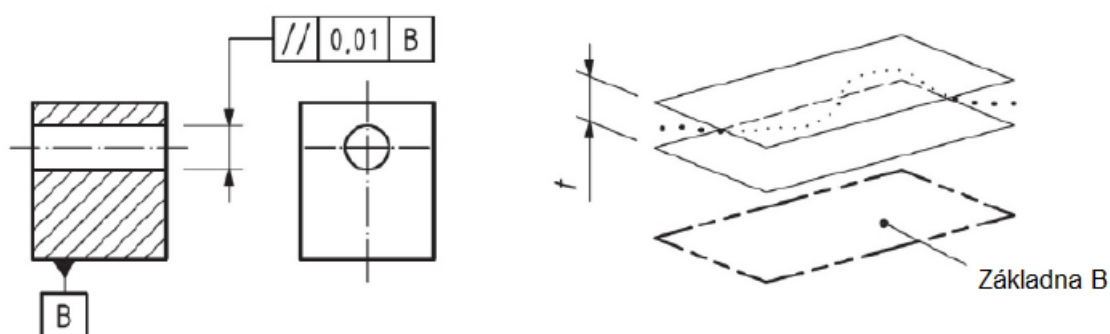
Obr. 2-10 Indikace a toleranční pole profilu povrchu [3]

2.4 TOLERANCE ORIENTACE

Další skupinou specifikace v pořadí je orientace. Jak již z názvu plyne, tato skupina nám určuje orientaci tolerovaného prvku vůči základně. Díky tomu je zřejmá nutnost použití základen v předpisu.

2.4.1 TOLERANCE ROVNOBĚŽNOSTI

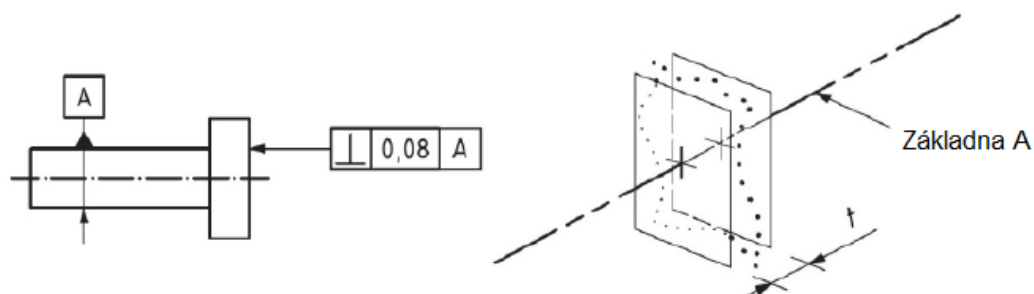
Skutečný zkoumaný prvek musí ležet v oblasti vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou odsazené o hodnotu tolerance a zároveň také musí být tyto roviny rovnoběžné s určenou základnou (Obr. 2-11). Pokud toleranci předchází značka průměru, toleranční pole se mění na oblast určenou válcem o průměru rovnu hodnotě tolerance.



Obr. 2-11 Indikace a toleranční pole rovnoběžnosti [3]

2.4.2 TOLERANCE KOLMOSTI

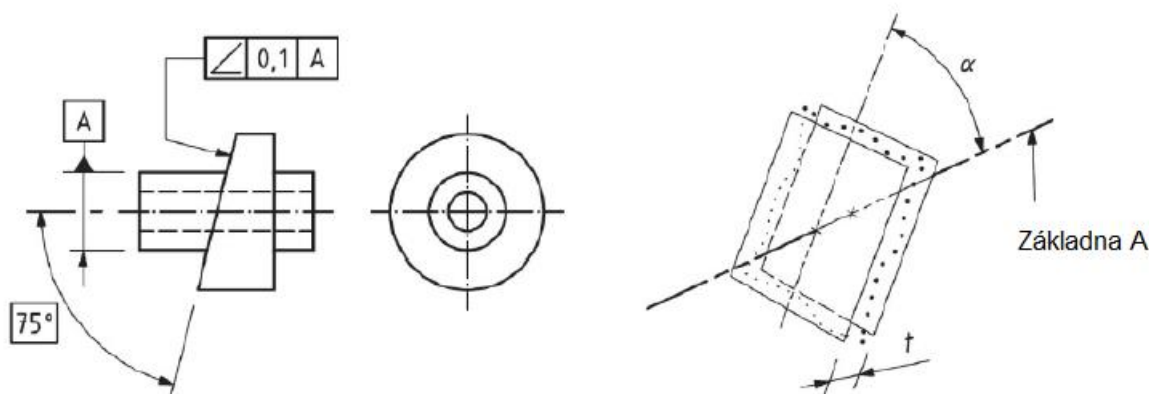
V tomto případě je tolerován prvek, od něhož opět vyžadujeme výskyt mezi dvěma rovnoběžnými rovinami odsazenými o hodnotu tolerance od sebe. Tentokrát jsou však tyto roviny kolmé na základnu (Obr. 2-12). Stejně jako v předchozím případě je i zde možnost přidání symbolu průměru za účelem nahrazení tvaru tolerančního pole válcem.



Obr. 2-12 Indikace a toleranční pole kolmosti [3]

2.4.3 TOLERANCE SKLONU

Tolerovaný prvek zde opět leží mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance. Roviny jsou navíc skloněny pod teoreticky exaktním úhlem k uvedené základně (Obr. 2-13). V případě přidání symbolu pro průměr lze toleranční pole přetvořit jako v předchozích případech na tvar válce.



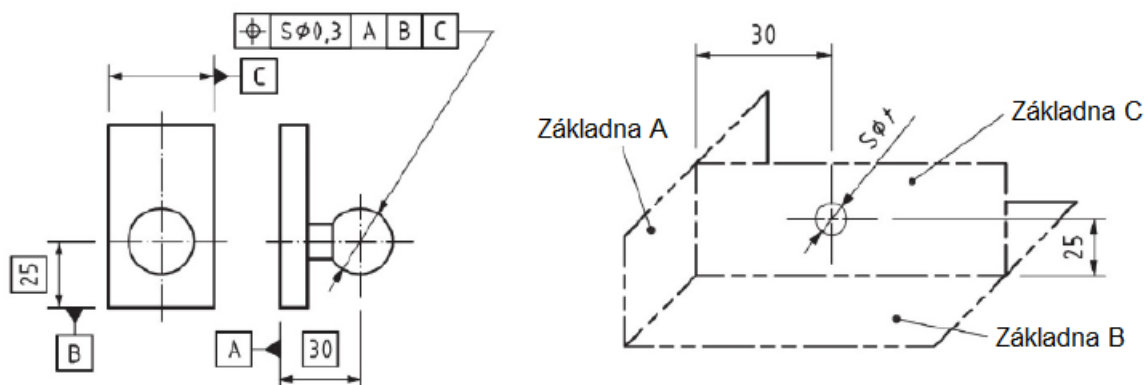
Obr. 2-13 Indikace a toleranční pole sklonu [3]

2.5 TOLERANCE UMÍSTĚNÍ

Dalším významným typem specifikací je umístění. Využití nachází zejména u tolerování děr, různých typů drážek a jejich os, které musí splňovat dané poziční podmínky.

2.5.1 TOLERANCE POLOHY

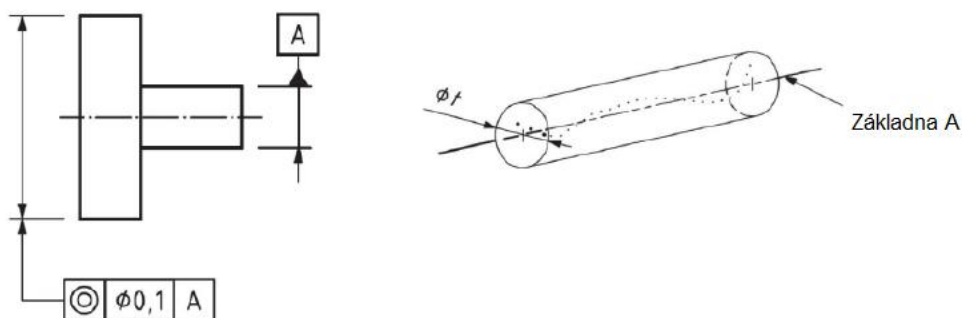
Prvním z nich je tolerance polohy. Ta určuje, jak je z názvu patrné, polohu tolerovaného prvku, který se nachází na součásti ve vzdálenostech, které jsou patřičně okótovány a uvažovány jako teoreticky exaktní rozměry. Tyto kóty jsou pak vztaženy k odpovídajícím základnám. Na Obr. 2-14 je znázorněna koule, jejíž střed musí ležet uvnitř kulového tolerančního pole o průměru 0,3 mm. Ten se musí dále nacházet v náležitých vzdálenostech od základen A, B a také ležet na rovině symetrie určené jako základně C.



Obr. 2-14 Indikace a toleranční pole polohy [3]

2.5.2 TOLERANCE SOUSTŘEDNOSTI A SOUOSOSTI

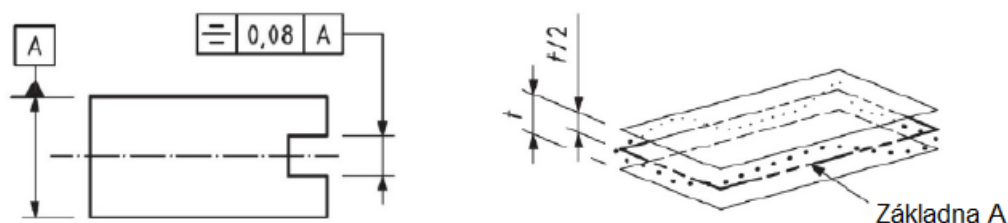
Zde je nejprve nutno si objasnit rozdíl mezi těmito dvěma specifikacemi. O soustřednosti hovoříme v případě, že vyšetřujeme polohu bodu. O souosost se jedná v případě, že cílem zájmu našeho zkoumání je čára, resp. osa. Na Obr. 2-15 je tolerovaným prvkem osa válce o větším průměru a ta musí ležet ve válcovém poli o průměru 0,1 mm, jehož osa je základna A.



Obr. 2-15 Indikace a toleranční pole souososti [3]

2.5.3 TOLERANCE SOUMĚRNOSTI

Extrahovaná rovina souměrnosti musí ležet v oblasti vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu „t“. Tyto roviny jsou souměrně umístěny vůči základně definované jako osa, resp. rovina symetrie (Obr. 2-16).

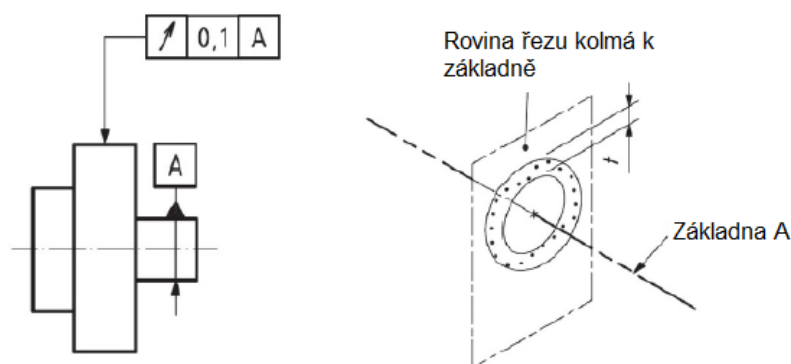


Obr. 2-16 Indikace a toleranční pole souměrnosti [3]

2.6 TOLERANCE HÁZENÍ

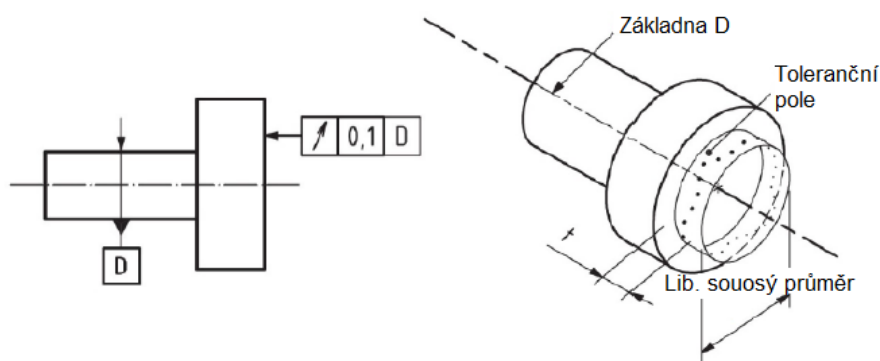
2.6.1 TOLERANCE KRUHOVÉHO HÁZENÍ

Lze ji rozdělit na házení obvodové a čelní. Tolerance obvodového házení definuje toleranční pole jako oblast mezi dvěma soustřednými kružnicemi, které jsou kolmé na základnu a jejich střed na ní leží. Velikost této oblasti je dána rozdílem poloměrů kružnic a určuje ji hodnota tolerance (Obr. 2-17).



Obr. 2-17 Indikace a toleranční pole kruhového házení obvodového [3]

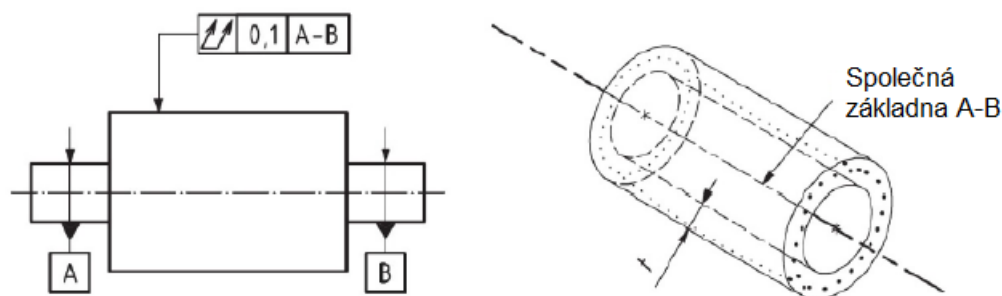
V případě kruhového házení čelního hovoříme o tolerančním poli, které tvoří válcová plocha, která je určena dvěma stejně velkými kružnicemi axiálně vzdálenými o hodnotu tolerance. Jejich středy leží na společné přímce, základně (Obr. 2-18).



Obr. 2-18 Indikace a toleranční pole kruhového házení čelního [3]

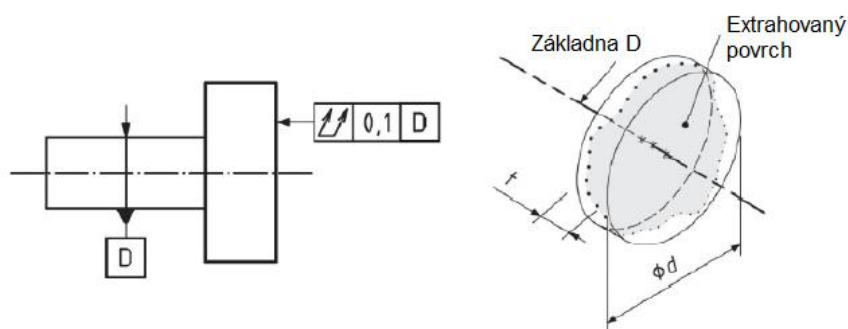
2.6.2 TOLERANCE CELKOVÉHO HÁZENÍ

Celkové házení lze také rozdělit na házení obvodové a čelní. Co se týče celkového házení obvodového, extrahovaný povrch musí ležet mezi dvěma souosými válci s rozdílem poloměrů 0,1 a osy se shodují se společnou základní přímkou A-B (Obr. 2-19). [3]



Obr. 2-19 Indikace a toleranční pole celkového házení obvodového [3]

Naproti tomu u celkového házení čelního musí tolerovaný prvek ležet v oblasti mezi dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a kolmými na základní přímkou (Obr. 2-20).



Obr. 2-20 Indikace a toleranční pole celkového házení čelního [3]

2.7 CHYBY MĚŘENÍ

Jakékoliv měření, které realizuje člověk je nutně zatíženo, byť jen minimální chybou měření. Ať už jde o chyby subjektivního, či objektivního charakteru, existuje zde celá řada faktorů, které mají vliv na měření a výsledky. Mezi tyto faktory patří například teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, hluchost, ale i intenzita umělého osvětlení na pracovišti.

Chyby subjektivního charakteru lze dále rozdělit na omyly a hrubé chyby. V tomto typu chyb hraje prim vliv lidského faktoru. Ať už se jedná o zásah člověka do měření přímo, například formou nepozornosti, nebo zanedbáním kontroly měřicích zařízení atp.

Ty objektivní můžeme rozdělit na systematické a náhodné chyby. Náhodná chyba je výsledek minus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti, tj. těsnosti shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny, provedených za stejných podmínek. V praxi lze provést pouze odhad náhodné chyby. [6] Systematické chyby jsou určovány poměry měření a lze je korigovat změnami těchto poměrů. Může jít o změnu podmínek, změnu pozorovatele, či změnu měřicího přístroje. Při zachování těchto podmínek se velikost systematické chyby nemění ani s rostoucím počtem opakování měření.

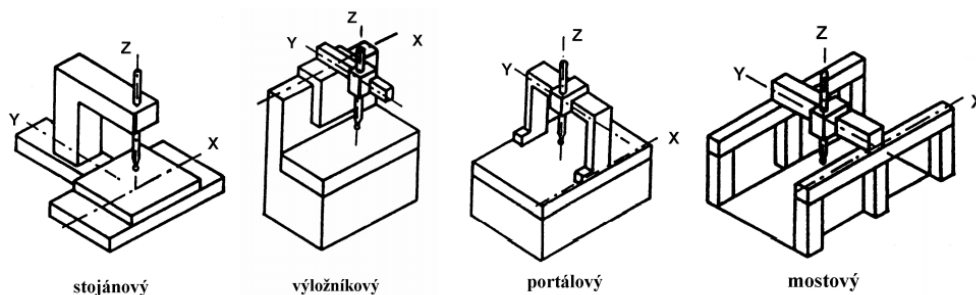
2.8 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Vzhledem k obsáhlosti této kapitoly jsem nucen zásadní množství informací vynechat a budou zde zmíněny hlavně nejčastěji používání zástupci měřicích strojů, které zvládnou změřit téměř všechny druhy geometrických tolerancí. Jedná se o souřadnicové měřicí stroje, nejvýznamnější inovaci v oblasti metrologie. Z důvodu vysokých nároků na přesnost tvarově složitých součástí například automobilového a leteckého průmyslu zaujímají tyto stroje dnes už neodmyslitelný post v metrologickém světě.

Princip měření na těchto zařízeních spočívá ve volbě počátku souřadnicového systému v prostoru, od kterého se následně všechny měřené hodnoty vyhodnocují ve vztahu k tomuto bodu v příslušných osách souřadného systému. Značnou výhodou je taky například schopnost těchto strojů spolupracovat se systémy CAD/CAM. Měřicí a inspekční software založen na

CAD platformě umožňuje spolupráci s měřicími daty, která mohou být naimportována s 3D modelem. [7]

Podle konstrukce dělíme tyto stroje na 4 typy: stojanový, výložníkový, portálový a mostový (Obr. 2-21).



Obr. 2-21 Základní typy souřadnicových měřicích strojů [8]

Stojanový typ poskytuje relativně malý rozsah pro měření. Vzhledem k dobré přístupnosti k měřeným součástem dosahuje tento typ největší přesnosti. Výložníkový typ se hodí pro měření delších součástí z důvodu krátké osy Y. Portálový nachází uplatnění u středně velkých a velkých rozsahů měření. Díky tuhosti celkového sestavení nabízí relativně vysokou přesnost. Na druhou stranu přístupnost k měřeným prvkům je zde omezena konstrukcí tohoto stroje. Vyrábí se jako varianta s pevným i pohyblivým portálem. Posledním typem je mostový stroj. Ten nachází uplatnění v oblastech, jakými jsou automobilový a letecký průmysl především díky velkým rozsahům měření. Tuhost konstrukce je nejvyšší, naopak přesnost proti ostatním typům klesá.

Za účelem různorodosti ukázek možností měření geometrických tolerancí je zde uveden ještě jeden typ měřicího zařízení, konkrétně kruhoměr. Ten zvládá měřit tolerance jako například kruhovitosti, válcovitost, sousost a oba druhy házení. Používá k tomu dotykové sondy a rotačního stolu.



Obr. 2-22 Kruhoměr Rondcom Touch fy PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. [9]

3 DISKUZE

3.1 NÁVRH A VÝROBA SOUČÁSTI VHODNÉ K MĚŘENÍ

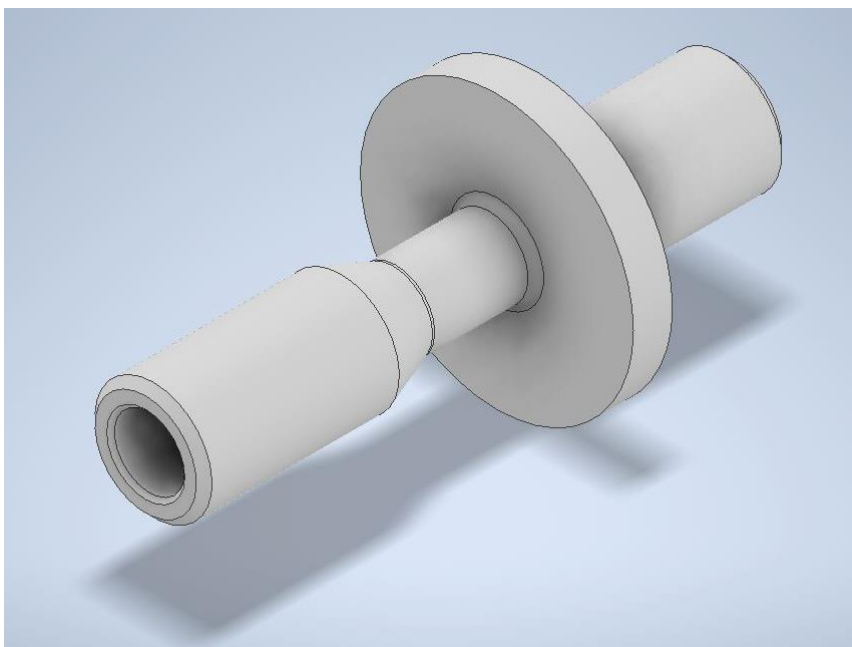
V rámci konceptu této závěrečné práce je uvažována součást, která má sloužit především pro výuku geometrických tolerancí. Díky této premise lze dojít záhy ke zjednodušujícím předpokladům pro návrh a také vyhodnocení tohoto dílce. Vzhledem k tomuto faktu odpadá nutnost uvažovat funkčnost jakýchkoliv částí, zejména pak dosedací plochy pro uložení atd. Dále lze také konstatovat, že byť se jedná o součástku rotačního charakteru, nejedná se o hřídel, nýbrž osu, jelikož není určena k přenosu točivého momentu.

Pro účel této práce je navržena a vyrobena součást, která svým tvarem umožňuje procvičení většího množství měření tolerancí v rámci jednoho celku, což je v práci žádoucí. Tolerance jsou navrhnuty s vyšší relativní geometrickou přesností.

Cílem práce je vytvořit jedno kompletní zadání s edukativním popisem měření. Dále ještě další dvě zadání, která se liší měřenou součástí, ne však už popisem zadání úlohy.

3.1.1 SPECIFIKACE SOUČÁSTI

Pro samotné měření je navržena rotační součást tvaru dle doporučení výrobce (obr. 3-1), od kterého je k dispozici měřicí přípravek.



Obr. 3-1 3D model navrhované součásti

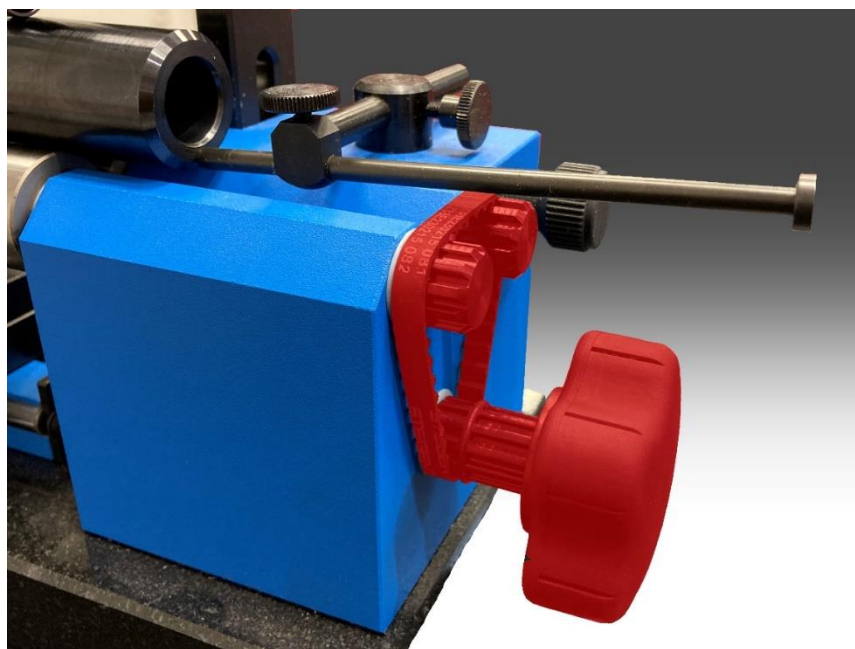
Materiál pro výrobu je volen s ohledem na nároky otěruvzdornosti a následně černěn pro zlepšení vzhledu a zároveň pro zaručení odolnosti proti korozi, kterou je nutno zajistit z důvodu vyššího počtu studentů, kteří se součástí přijdou do styku. Konkrétně se jedná o nástrojovou ocel 35NiCrMo16 (1.2766) běžně využívanou při tvářecích procesech. Je

zřejmé, že jde o značně naddimenzovaný materiál s ohledem na využití, ale jde z části i o kompromis spojený s dostupností polotovaru.

3.1.2 POPIS MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

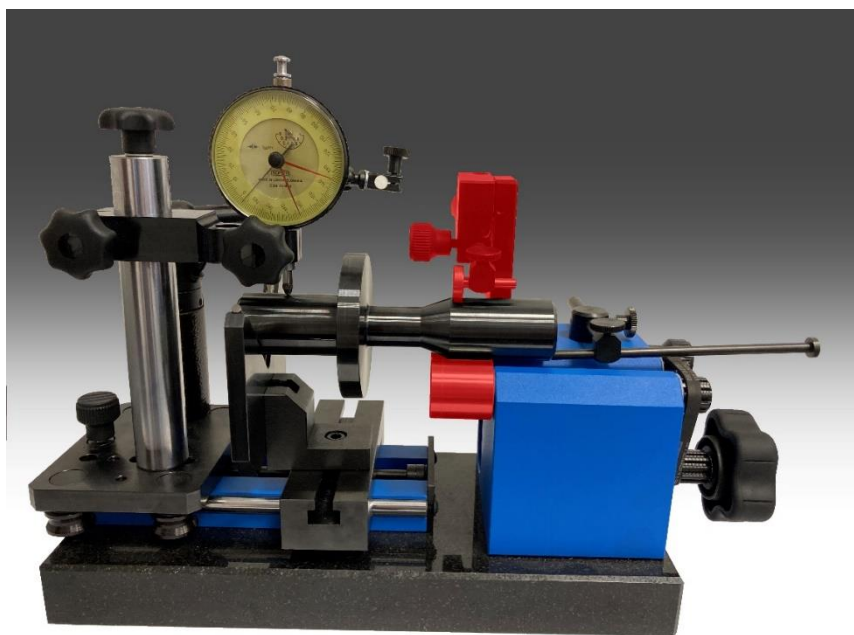
Jedná se o přípravek od německé firmy norelem Normelemente Bau- und Vertrieb GmbH, který je primárně určen k měření házení, soustřednosti a kolmosti. Lze na něm ale díky nepatrným modifikacím měřit i dalších několik tolerancí včetně kruhovitosti, válcovitosti, konkrétně potřebným k vlastnímu měření. Díky své konstrukci jej lze používat jak v laboratoři, tak na dílně. V tomto případě je také vhodný pro názornou výuku a popis geometrie. Díky přidavnému kloubovému ramenu, které je, věřím, v rámci nadstandardní výbavy, jelikož jej výrobce na svých stránkách jako součást základního arzenálu neuvádí, má možnost měřit odchylky i výrazně vzdálené od osy symetrie součásti. I tak je ale součást i její další dvě alternativy volena s ohledem na omezující parametry výrobce, jež činí zkušební oblast využitelnou v rozmezí od $\varnothing 5$ mm do $\varnothing 35$ mm. Ne tento interval je brán zřetel zejména při volbě válcových konců všech navržených dílců.

Samotná konstrukce je docela jednoduchá. V nejzazší pravé části se nachází mechanismus řemenice s ozubeným řemenem (obr. 3-2).



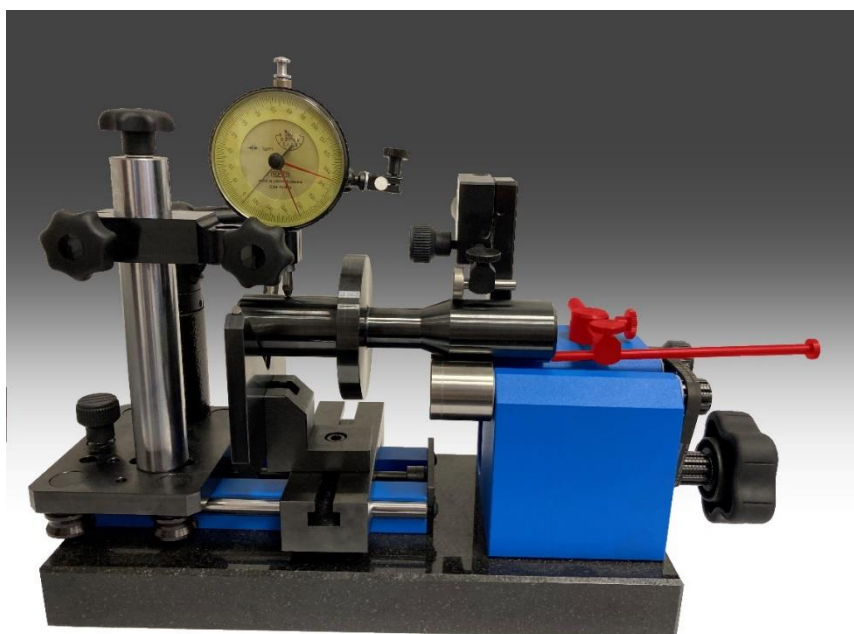
Obr. 3-2 Mechanismus hnací řemenice

Ten slouží jako manuální pohon pro dva hladké ocelové válečky, které uvádí do pohybu součást, již na ně přiléhá (obr. 3-3). Ta je upevněna, aby nedošlo k překlopení, pomocí dalšího mechanismu, který funguje na principu předpnuté pružiny a ustavením držáku ve smyslu vertikálním dochází k vymezení předpnutí a tlaku na součást, který je nutný k jejímu udržení v poloze pro měření. Vše je zprostředkováno válcovými díly s jedním stupněm volnosti kvůli schopnosti rotovat kolem vodorovné osy.



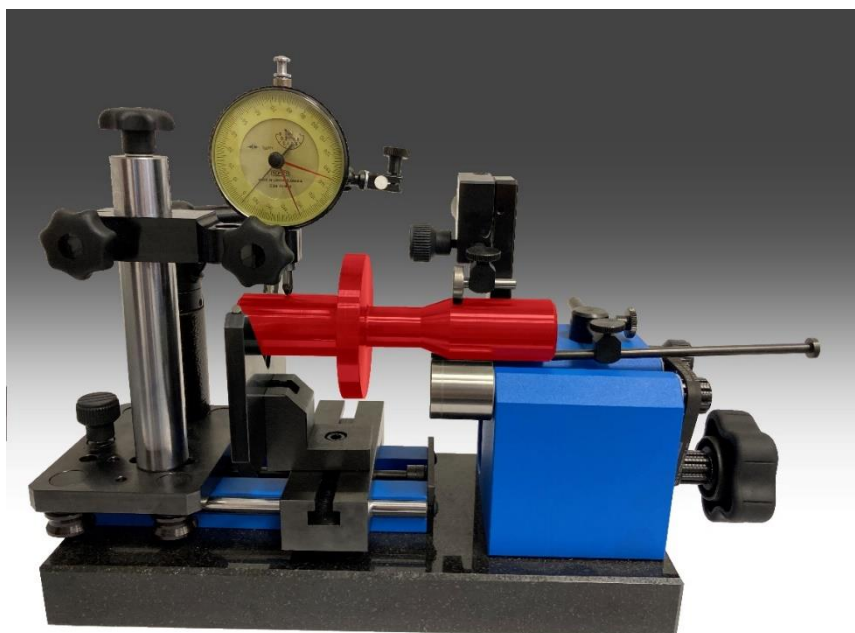
Obr. 3-3 Kontaktní válce a tlačný mechanismus

Další částí sestavy je opět jednoduchý mechanismus sloužící k vymezení polohy měřené součásti ve směru osy vodorovné (obr. 3-4). Tento doplněk se jevil užitečný zejména v případě, kdy bylo díky pravděpodobně nedokonalému ustavení měřeného dílu zjištěno, že součást „klouzala“ při rotaci po směru hodinových ručiček od tohoto dorazu. To bylo před samotným měřením vyřešeno pomocí preciznějšího usazení dílce na podpory.



Obr. 3-4 Mechanismus dorazu

Na následujícím obrázku je pro dokonalejší představu zvýrazněna měřená součást a její pozice v měřicím přípravku (obr. 3-5).

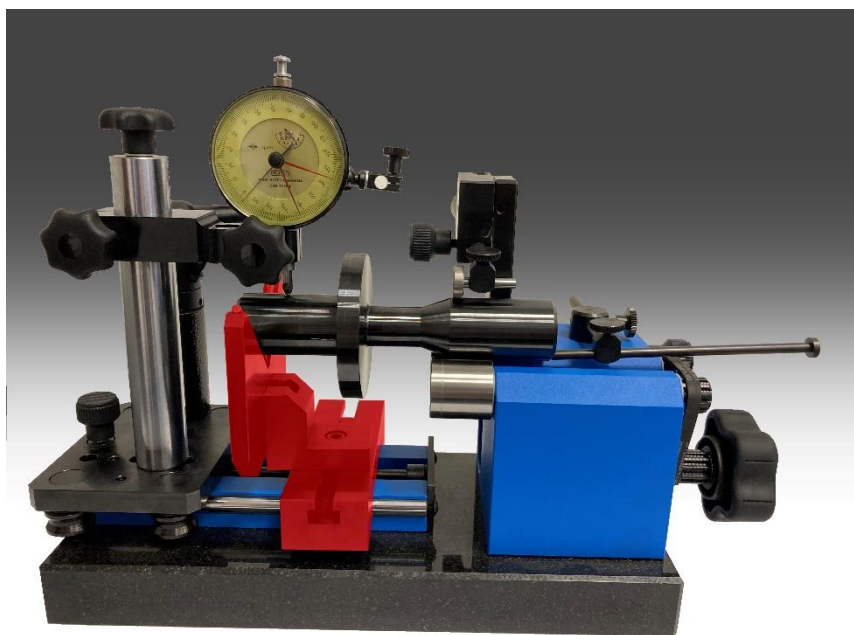


Obr. 3-5 Měřená součást

Při prohlížení přípravku zprava doleva jsou dalšími prvky na seznamu komponent dodatečně saně s prizmatem tvaru V, sloužícím k uložení delších válcových součástí (obr. 3-6). Pro měřený díl není použití prizmatu k podepření zprvu naprosto nezbytné, avšak později je využito pro měření několika tolerancí ke společné základně tvořené osami obou válcových konců. Toto rozhodnutí vede jednak k staticky jistějšímu uložení, které nevyústí v byť minimální naklonění součásti, ale je vhodné i pro edukativní účely, kdy existuje předpoklad, že pojem „společná základna A-B“ bývá neúplně dostatečně studenty pochopen.

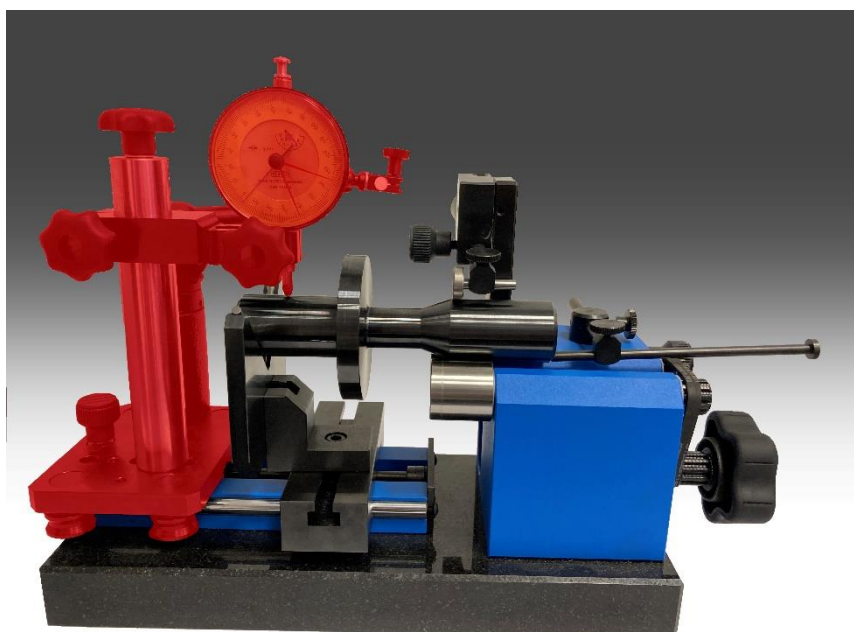
Saně jezdí po vedení ve směru osy součásti. Samotné prizma je potom pomocí šroubů s imbusovou hlavou možno libovolně nastavit tak, aby ideálně podepíralo měřený kus.

Kontaktní oblastí hnacích kontaktních válečků zmíněných výše a měřené součásti je dvojice obdélníků, které dosahují v součtu mnohonásobně vyšší hodnoty obsahu, nežli je tomu u prizmatu, jehož kontaktní opěrné válce jsou orientovány kolmo na součástku, a tedy tvoří kontaktní plochu tvaru kruhu. Z tohoto důvodu je měřený dílec nutno zprvu silněji přitlačit ke dvojici kontaktních válečků a až následně nastavit prizma na dotyk a dotáhnout k plnění funkce podpory pro měření.



Obr. 3-6 Dodatečné saně s prizmatem

Konečně k popisu posledního, ne však o to méně důležitého prvku, saní s držákem číselníkového úchylkoměru (obr. 3-7). Ty se mohou pomocí čtveřice rolničků opět pohybovat po vedení ve směru vodorovné osy rovnoběžné s osou součásti s maximálním dosahem uváděným výrobcem 100 mm. Dále existuje v daném rozsahu možnost využití stavitelného dorazu v jednom směru.



Obr. 3-7 Saně s držákem měřidla

Všechny dosud zmíněné hlavní části měřicího zařízení leží na žulovém podstavci o rozměrech 300 mm x 130 mm x 25 mm.

Dalšími důležitými prvky této sestavy, bez kterých by měření šlo zrealizovat asi jen stěží, jsou samotná měřidla. Prvním z nich je číselníkový úchylkoměr značky Somet s dělením 0,001 mm (obr. 3-8), u kterého je zdvih měřicí tyčky přenášén na ukazovatel, který se otáčí před analogovou kruhovou stupnicí. Motivací k použití úchylkoměru s nejmenším dílkem o velikosti tisíciny milimetru je přesná výroba součástí, která při použití úchylkoměru s rozlišitelností 0,01 mm znemožňuje atraktivní vyhodnocení hodnot edukativního popisu pro studenty.



Obr. 3-8 Úchylkoměr Somet

Druhým použitým měřidlem je horizontální páčkový úchylkoměr od předního světového výrobce měřidel Mitutoyo (obr. 3-9). Rozsah měření nabízí 0,8 mm a stupňování po 0,01 mm. Jedná se o číselníkový úchylkoměr, jehož kulový měřicí dotek je umístěn na výkyvné páčce. Pohyb této páčky se pomocí mechanického systému přenáší na ukazatel, který se otáčí před analogovou kruhovou stupnicí, která zleva i zprava dosahuje společné maximální hodnoty 0,4 mm.



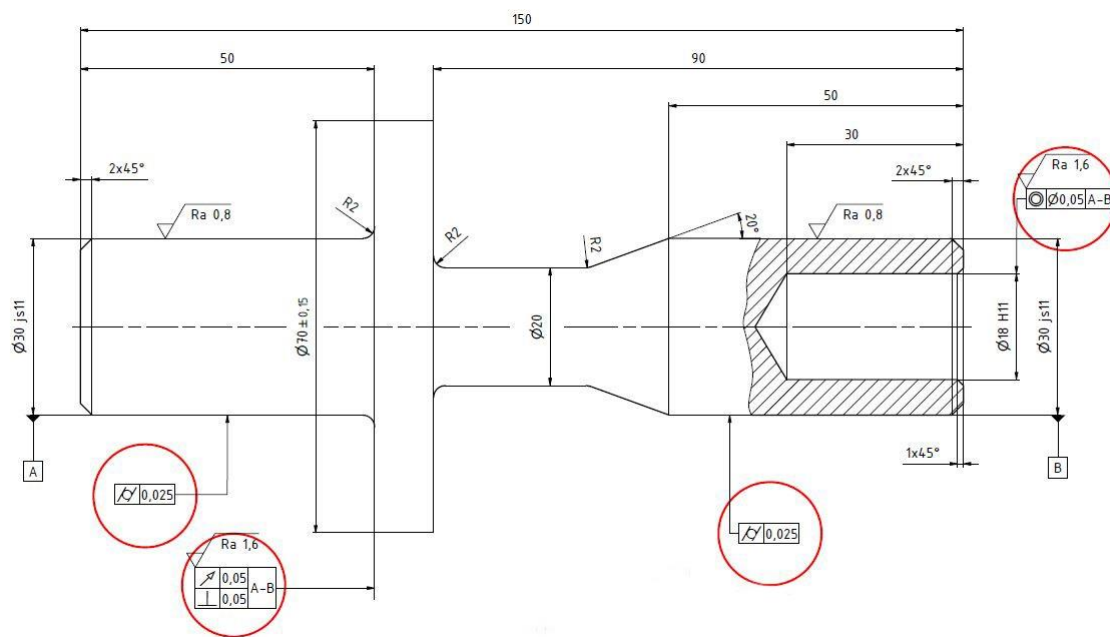
Obr. 3-9 Horizontální páčkový úchylkoměr Mitutoyo [10]

3.2 APLIKACE POZNATKŮ O MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ

Nyní je třeba vyhodnotit správnost výroby, která je dle specifických tolerancí požadována. K tomuto účelu poslouží dílec z předchozího odstavce, který je vyroben podle výrobního výkresu s danou přesností viz níže. Dále také znalosti získané z rešeršní části věnující se druhům geometrických tolerancí včetně způsobu vyhodnocování.

3.2.1 ZADÁNÍ ÚLOHY Č.1

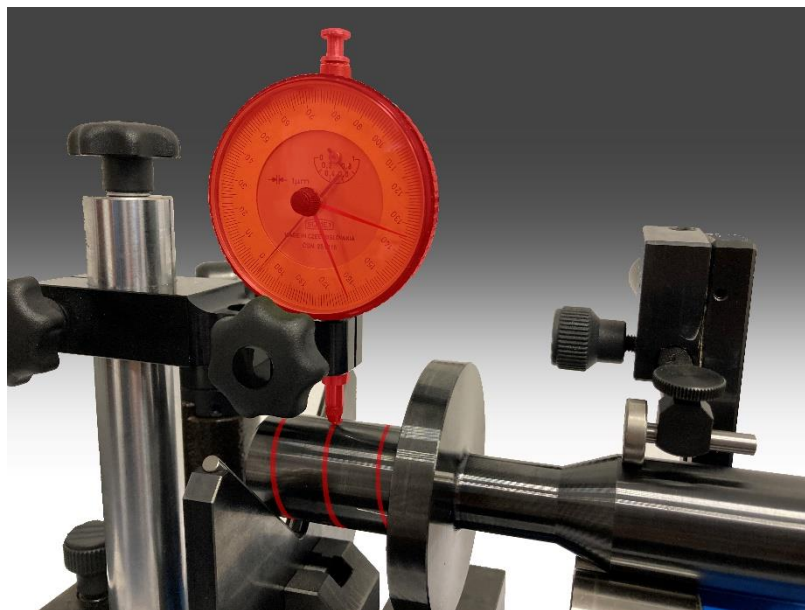
Je dána součást. Změřte všechny vyznačené geometrické tolerance dle přiloženého výkresu a vyhodnoťte, zda se jedná o správně, či chybně vyrobenou součást (obr. 3-10).



Obr. 3-10 Zadání úlohy č.1

3.2.2 POSTUP A VYHODNOCOVÁNÍ MĚŘENÍ

Prvním měřeným prvkem je tolerance válcovitosti z levé části dílu. Hodnota tolerančního pole je dle zadání 0,025 mm. Princip vyhodnocování spočívá v současné kontrole kruhovitosti spolu s přímostí. Pro realizaci měření bylo využito číselníkového úchylkoměru Somet s dělením 0,001 mm. Na Obr. 3-11 je znázorněn průběh měření válcovitosti na měřené válcovité části.



Obr. 3-11 Průběh měření válcovitosti

Úchylkoměr je třeba nastavit do polohy co nejvíce kolmé ke zkoumanému povrchu. Součást upneme do měřicího přípravku pomocí prizmatu tvaru V, nebo pouze vložením mezi dva rotační válečky. K tomu je ale zapotřebí většího tlaku kvůli zamezení vyklopení součásti. Toho lze dosáhnout posunutím tlačného mechanismu dolů ve směru svislém. V našem případě využijeme prizma kvůli zjednodušení přechodu k dalšímu měření, ve kterém je už potřeba. Dále je také potřeba nastavit úchylkoměr přes dotyk zhruba do poloviny rozsahu, aby popřípadě nedošlo během měření k odsednutí měřidla od kontrolované plochy. To by mělo za následek zkreslení. Poté už stačí jen vynulovat číselník pro snazší odečítání.

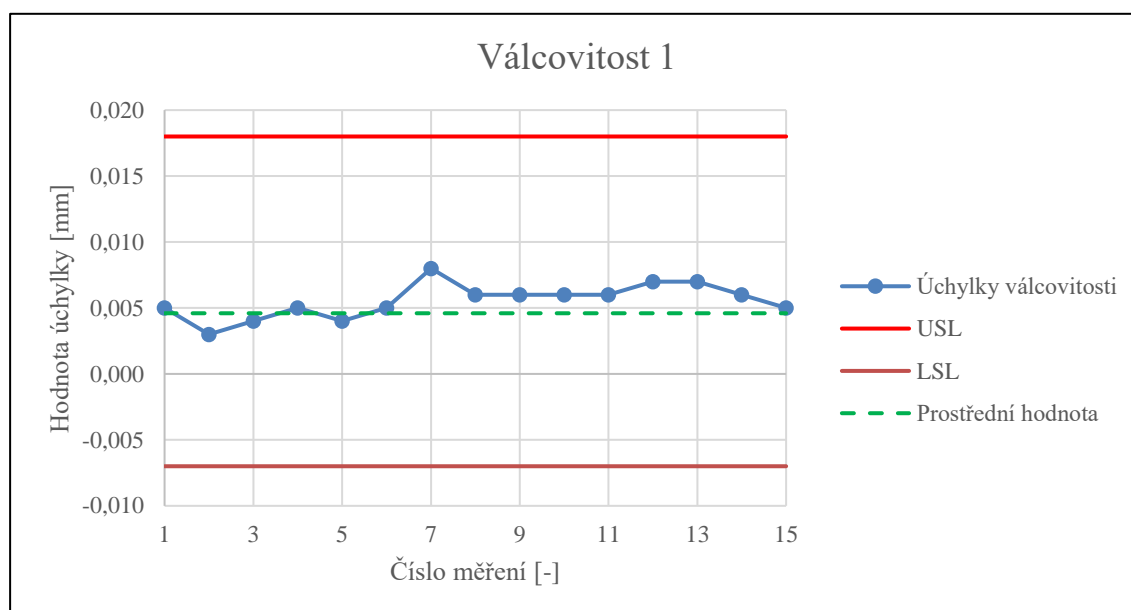
Pro tvorbu analýzy je zapotřebí změřit několik kruhovitostí po celé délce intervalu měřeného prvku a ty posléze zkombinovat v měření válce. [11] Zde existuje ovšem možnost díky edukativnímu konceptu zjednodušit tento princip měření, a tedy samotné měření válcovitosti bude spočívat v odečtu úchylky z úchylkoměru při současné rotaci a translaci součásti. Měření probíhá však na většině délky válcového konce a trajektorie úchylkoměru připomíná tvarem šroubovici. Pohyb součásti ve směru její osy je zajišťován použitím ruky, díky níž je součást tlačena, resp. odtahována od dotyku úchylkoměru. Její rotaci umožňuje synchronní mechanismus s ozubeným řemenem poháněný přiměřenou manuální silou zajišťující plynulost otáčení. Zároveň jsou po krocích odečítány úchylky z číselníku a zapisovány do tabulky. Celkem provedeno patnáctkrát.

Tab. 3-1 Naměřené hodnoty pro válcovitost 1

| číslo měření | naměřená hodnota úchylky válcovitosti 1 [mm] |
|-----------------|--|
| 1 | 0,005 |
| 2 | 0,003 |
| 3 | 0,004 |
| 4 | 0,005 |
| 5 | 0,004 |
| 6 | 0,005 |
| 7 | 0,008 |
| 8 | 0,006 |
| 9 | 0,006 |
| 10 | 0,006 |
| 11 | 0,006 |
| 12 | 0,007 |
| 13 | 0,007 |
| 14 | 0,006 |
| 15 | 0,005 |

Pro lepší představu vyhodnocování geometrických tolerancí je přiložen ke každé jednoduchý graf znázorňující naměřené hodnoty úchylek a horní a dolní mez tolerančního pole (obr. 3-12). Toto pole však kvůli relativnosti měření, tj. absence absolutní jmenovité hodnoty, postrádá jakousi vymežovací definici. Proto je hlavně pro účel lepší vizualizace ideje znázorněno pomocí pásma, které je vymezeno horní a dolní mezí specifikace, což je polovina zadaného tolerančního pole z technického výkresu přičtená, resp. odečtená od hodnoty

poloviny součtu maximální a minimální naměřené hodnoty úchylky. Ta je dále pro účely vykreslování zjednodušeně označena jako „Prostřední hodnota“.



Obr. 3-12 Graf vyhodnocení tolerance válcovitosti 1

Jak je z grafu i tabulky patrné, rozdíl maximální a minimální hodnoty úchylek válcovitosti je menší než šířka předepsaného tolerančního pole. Tolerance je tedy dodržena.

Druhým vyhodnocovaným prvkem je kruhové házení čelní s tolerančním polem o šíři 0,05 mm. Součást je upnuta jako v předchozím případě, tentokrát je však již potřeba, aby byla podpora realizována pod oběma válcovými konci součásti, jejichž osy jsou uvažovány dle výkresové dokumentace jako základny A, B. Rameno držící úchylkoměr je nyní zapotřebí přenastavit do polohy, ve které bude měřidlo opět dosedat dotykem kolmo ke kontrolované ploše (obr. 3-13).



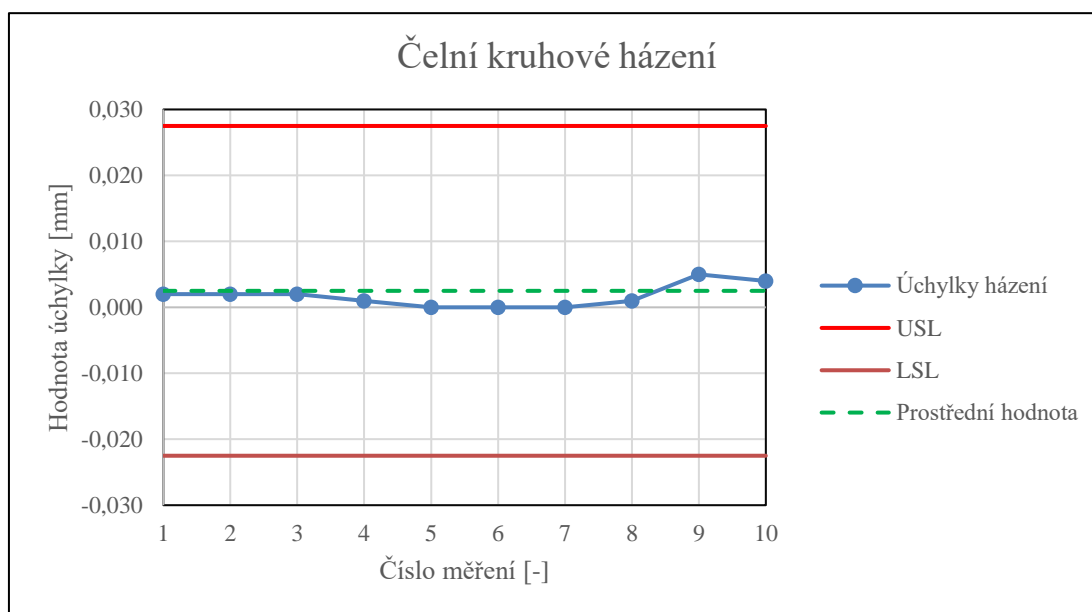
Obr. 3-13 Průběh měření kruhového čelního házení

Měřidlo znovu přitlačíme přes dotyk, aby nedošlo k odchýlení měřidla od kusu a vynulujeme stupnici. Jelikož je toleranční pole vymezeno pouze dvěma kružnicemi vzdálenými od sebe axiálně o hodnotu tolerance, je dostačující pro vyhodnocení deset naměřených hodnot získaných odečtem z úchylkoměru, jehož dotyk opíše na měřené ploše kružnici o konstantním poloměru. Rotací součásti a postupným odčítáním úchylek po zhruba 36° získáme kýžená čísla, která jsou následně vepsána do tabulky.

Tab. 3-2 Naměřené hodnoty pro házení

| číslo měření | naměřená hodnota úchylky házení [mm] |
|--------------|--------------------------------------|
| 1 | 0,002 |
| 2 | 0,002 |
| 3 | 0,002 |
| 4 | 0,001 |
| 5 | 0,000 |
| 6 | 0,000 |
| 7 | 0,000 |
| 8 | 0,001 |
| 9 | 0,005 |
| 10 | 0,004 |

Jelikož se naměřená čísla opět pohybují v jednotkách tisícín milimetru, je zřejmé, že je tolerance opět dodržena a tvar součásti vyhovuje zadané specifikaci. Viz Obr. 3-14 pro názornost.



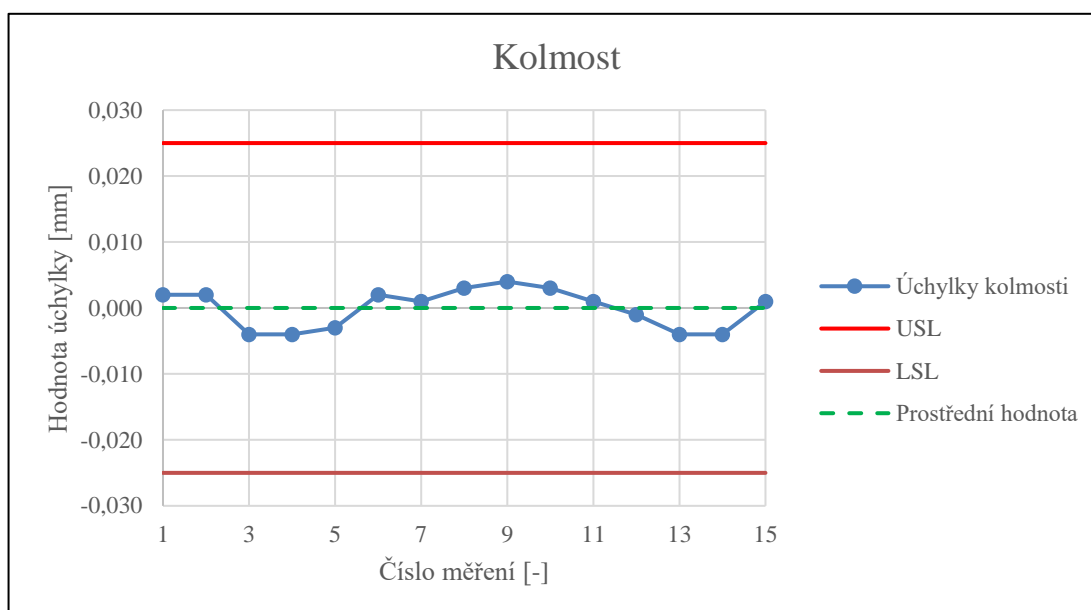
Obr. 3-14 Graf vyhodnocení tolerance čelního kruhového házení

Třetím v pořadí je tolerance kolmosti. K té jen strohé vyjádření, jelikož se jedná o jakési rozšíření tolerance čelního házení, které je vyhodnoceno v krocích předchozích. Jen se v tomto případě přidávají v účinnost vyhodnocení i body plochy, které leží vně i uvnitř kružnice z předchozího kroku. Ty by měly reprezentovat pole bodů kontrolované plochy, která má být kolmá ke společné ose válcových konců součástí. Proto také upnutí dílce zůstává neměnné. Jen úchylkoměr během měření nastavíme do třech různých poloh, při kterých opíše tři různě velké soustředné kružnice. Na každé je změřeno pět hodnot, celkem tedy patnáct.

Tab. 3-3 Naměřené hodnoty pro kolmost

| číslo měření | naměřená hodnota úchylky kolmosti [mm] |
|--------------|--|
| 1 | 0,002 |
| 2 | 0,002 |
| 3 | -0,004 |
| 4 | -0,004 |
| 5 | -0,003 |
| 6 | 0,002 |
| 7 | 0,001 |
| 8 | 0,003 |
| 9 | 0,004 |
| 10 | 0,003 |
| 11 | 0,001 |
| 12 | -0,001 |
| 13 | -0,004 |
| 14 | -0,004 |
| 15 | 0,001 |

Výsledky jsou opět znázorněny pomocí jednoduchého grafu s ohraničujícím polem specifikace (obr. 3-15). Z něj je opět jasně vidět, že je tvar součásti vyhovující.

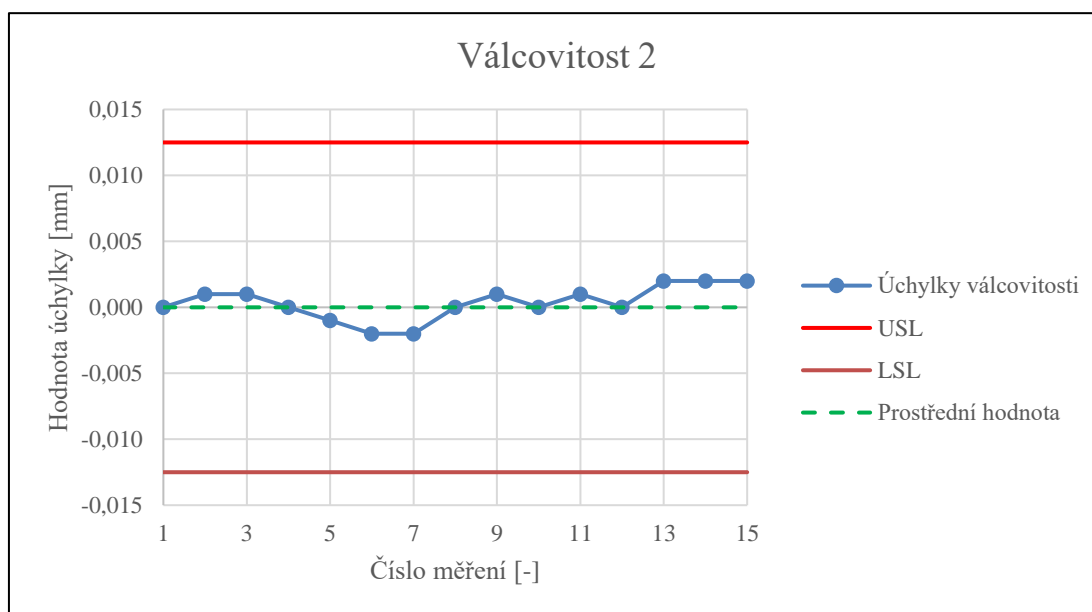


Obr. 3-15 Graf vyhodnocení tolerance kolmosti

Následuje vyhodnocení kontroly v pořadí druhé válcovitosti. Postup je naprosto shodný s postupem měření první. Jediný rozdíl spočívá v upnutí součásti, kterou je teď nutno převrátit kvůli lepší přístupnosti k válcové ploše. Výstupem je zase v součtu patnáct hodnot, které jsou zaneseny do tabulky. Výsledkem je opět vyhovující tvar (obr. 3-16).

Tab. 3-4 Naměřené hodnoty pro válcovitost 2

| číslo měření | naměřená hodnota úchylky válcovitosti 2 [mm] |
|--------------|--|
| 1 | 0,000 |
| 2 | 0,001 |
| 3 | 0,001 |
| 4 | 0,000 |
| 5 | -0,001 |
| 6 | -0,002 |
| 7 | -0,002 |
| 8 | 0,000 |
| 9 | 0,001 |
| 10 | 0,000 |
| 11 | 0,001 |
| 12 | 0,000 |
| 13 | 0,002 |
| 14 | 0,002 |
| 15 | 0,002 |



Obr. 3-16 Graf vyhodnocení tolerance válcovitosti 2

Měření je završeno poslední tolerancí, kterou nám diktuje změřit technický výkres, a tou je souosost díry v pravé části dílu, jejíž osa musí ležet ve válci o průměru rovném předepsané hodnotě tolerance. Jmenovitá osa je společná osa obou válcových konců. K měření je využito páčkového úchylkoměru, který je díky svému tvaru schopen se dostat dovnitř kontrolované díry (obr. 3-17). Kontrola je provedena na třech kružnicích na vnitřní straně díry vzdálených od sebe o libovolnou hodnotu, přiměřenou hloubce válcové díry. Nutno se ujistit, že páčkový úchylkoměr je v dotyku se součástí a páčka je lehce vyhnuta.



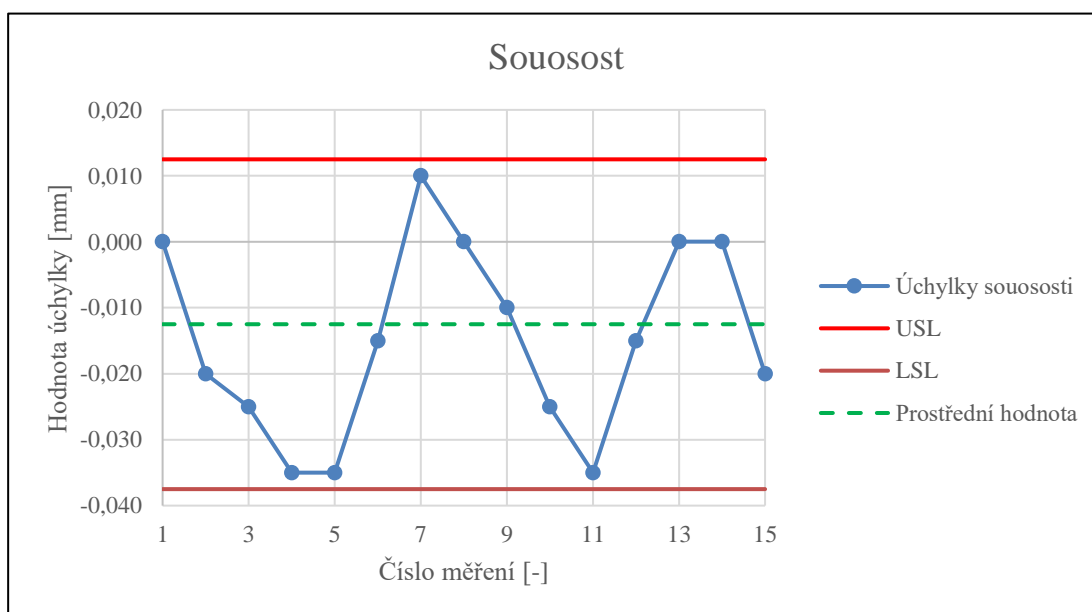
Obr. 3-17 Měření souososti díry

Číselník je nastaven na nulovou hodnotu. Odečtené hodnoty jsou postupně zaznamenávány do tabulky. Celkem měřeno opět patnáctkrát, pro každou kružnici pět měření.

Tab. 3-5 Naměřené hodnoty pro souosost

| číslo měření | naměřená hodnota úchyly souososti [mm] |
|--------------|--|
| 1 | 0,000 |
| 2 | -0,020 |
| 3 | -0,025 |
| 4 | -0,035 |
| 5 | -0,035 |
| 6 | -0,015 |
| 7 | 0,010 |
| 8 | 0,000 |
| 9 | -0,010 |
| 10 | -0,025 |
| 11 | -0,035 |
| 12 | -0,015 |
| 13 | 0,000 |
| 14 | 0,000 |
| 15 | -0,020 |

Dle Obr. 3-18 je dále patrné, že se osa teoreticky přesné díry skutečně nachází ve válci o požadovaném průměru.



Obr. 3-18 Graf vyhodnocení tolerance souososti

ZÁVĚR

Úkolem rešeršní části práce bylo shrnutí všech a doplnění chybějících poznatků týkajících se měření a vyhodnocování geometrických tolerancí. Majoritní podíl na tomto obohacení má norma ČSN EN ISO 1101, která byla důležitým literárním zdrojem.

V rámci diskuzní části byl důraz kladen na dostatečně podrobné zpracování cílů práce, které zahrnovalo edukativní popis měření jednotlivých tolerancí, předepsaných technickým výkresem navržené součásti. Ta byla navržena se zaměřením pro výuku studentů základů konstruování a dále na základě doporučení výrobce měřicího přípravku, používaného pro samotnou kontrolu.

Všechna měření lze považovat za úspěšná a součást za tvarově vyhovující. Skutečností zůstává, že v některých krocích, zejména pak při změně pozic úchylkoměru, kdy bylo pro jednodušší odečítání hodnot potřeba vynulovat číselník, lze na grafech výstupních hodnot rozeznat nepatrné změny výsledných úchylek, které ovšem nebyly zapříčiněny nerovnostmi, či nepřesnostmi tvaru. Kvůli tomuto faktu by pro bezchybnost měření měly být po každém takovém zákroku do pozice měřidla zakreslené hodnoty vyhodnoceny ve zvláštním grafu. Jelikož se ale i přes toto nesprávné pojetí nacházejí výsledky v mezích, a taky jelikož se jedná jen čistě o grafickou stránku věci, lze tuto problematiku považovat za zanedbatelnou.

Svoji úlohu by zde ovšem mohly sehrát nejistoty měření, zvláště pak při poslední z vyhodnocovaných tolerancí, souososti. Zde dochází k výraznému poklesu přesnosti výroby ve srovnání s ostatními zkoumanými prvky. Kdybychom pak uvažovali nejistoty, které posuzované toleranční pole dále zužují, dalo by se polemizovat o způsobilosti zkoumaného tvaru. Do těchto nejistot vstupuje mnoho faktorů, včetně například úhlu mezi směry pohybu dotyku páčkového úchylkoměru a měřeného obrobku, počtu měření, ohřátí součásti během měření atd. Stejně tak je důležité zmínit potenciální vliv chyb měření. Abychom tento vliv minimalizovali bylo by zapotřebí každé měření několikrát zopakovat. To se však z důvodu edukativní formy práce nestalo a všechna měření byla provedena pouze jednou. Co se týče oněch nejistot, na základě doporučení odborných pracovníků z fakulty se této problematice nevěnuji a do své práce jsem ji nezahrnul.

K dílčím úkolům práce ovšem patří ještě návrh dalších dvou součástí, které se ovšem blíže nezkoumaly. Tyto součásti jsou přidány v seznamu příloh, kde se mimo to nachází i kompletní výkres součásti z diskuzní části práce.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MOURÃO, António, João FRADINHO, António GABRIEL-SANTOS a Miguel CAVIQUE. Independence of metrological operations: the relevance of datum systems in GD&T. *Procedia CIRP* [online]. Elsevier B.V, 2019, 84, 307-310 [cit. 2021-05-10]. ISSN 2212-8271. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2019.04.263
- [2] NASSEF, Ashraf O. a Hoda A. ELMARAGHY. Allocation of Geometric Tolerances: New Criterion and Methodology. *CIRP annals* [online]. Elsevier, 1997, 46(1), 101-106 [cit. 2021-5-10]. ISSN 0007-8506. Dostupné z: doi:10.1016/S0007-8506(07)60785-9
- [3] ČSN EN ISO 1101 (014120): Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [4] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [5] CURTIS, Mark. *Handbook of Dimensional Measurement*. 5th ed. New York: Industrial Press, 2013. ISBN 9780831191603.
- [6] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie*. 4. přeprac. vyd., 2. v nakl. CERM. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 176 s. : il. ISBN 80-214-3070-2.
- [7] Husted, Ernie. GD&T, MANUFACTURING IMPERATIVE. *Quality* [online]. Troy: BNP Media, 2019, 58(3), 24-25 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://search.proquest.com/scholarly-journals/gd-amp-t-manufacturing-imperative/docview/2190395239/se-2?accountid=17115>
- [8] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 978-80-248-0671-6.
- [9] Kruhoměr. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK, s.r.o.* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/kruhomer-rondcom-touch/>
- [10] Mitutoyo [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.04.05/Horizont%C3%A1ln%C3%AD%20p%C3%A1%C4%8Dkov%C3%BD%20%C3%BAchylkom%C4%9Br/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/513-404-10E/index.xhtml](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.04.05/Horizont%C3%A1ln%C3%AD%20p%C3%A1%C4%8Dkov%C3%BD%20%C3%BAchylkom%C4%9Br/$catalogue/mitutoyoData/PR/513-404-10E/index.xhtml)
- [11] TAYLOR HOBSON. *Exploring roundness: A fundamental guide to the measurement of cylindrical form*. Third edition. Leicester, England: Taylor Hobson, 2011.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|------------|--|
| <i>CAD</i> | Computer aided design (počítačem podporovaný design) |
| <i>CAM</i> | Computer aided manufacturing (počítačem řízená výroba) |
| <i>LSL</i> | Lower specification limit (dolní mez specifikace) |
| <i>USL</i> | Upper specification limit (horní mez specifikace) |

SEZNAM PŘÍLOH

| Typ přílohy | Název | Číslo |
|----------------------|--------------------------------|----------|
| Výkres součásti | Součást 1 | A3-BP-01 |
| Výkres součásti | Součást 2 | A3-BP-02 |
| Výkres součásti | Součást 3 | A3-BP-03 |
| Laboratorní protokol | Měření geometrických tolerancí | - |